

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ТЕМА РОБОТИ

**Модернізація електромеханічного обладнання барабанного
змішувача СБ 2.8х6.0 в умовах АТ «ПівдГЗК»**

Виконав:

студент групи ЕЕМ-23-ск _____ Мазур Є.Ю.

Керівник випускної роботи _____ д.т.н., проф. В.К. Титюк

Нормоконтролер _____ д.т.н., проф. В.К. Титюк

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. В.О. Федотов

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. І.І. Пересунько

Кривий Ріг

2026 р.

**ЗАВДАННЯ НА
ВИПУСКНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Мазуру Єгору Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація електромеханічного обладнання барабанного змішувача СБ 2.8х6.0 в умовах АТ «ПівдГЗК»
2. Строк подання здобувачем роботи: 10 червня 2026 р.
3. Мета та завдання випускної роботи:

Мета та завдання випускної роботи – дослідження роботи електроприводу барабанного змішувача СБ 2.8х6.0 в умовах АТ «ПівдГЗК», аналіз статичних та енергетичних характеристик електроприводу барабанного змішувача, розрахунок динамічних режимів електроприводу у MATLAB/Simulink, розрахунок цехового електропостачання.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) :
Опис технологічного устаткування; Електромеханічне обладнання барабанного змішувача; Розрахунки статичних режимів роботи електроприводу барабанного змішувача; Розрахунок динамічних режимів електроприводу барабанного змішувача. Розрахунок елементів системи цехового електропостачання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Слайди презентації у кількості 8 штук _____

3.Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Титюк В.К.	05.05.2026	10.06.2026
II	Титюк В.К.	05.05.2026	10.06.2026
III	Титюк В.К.	05.05.2026	10.06.2026

7.Календарний план виконання роботи та консультацій

№	Назва етапів роботи	Дата виконання
1	Огляд та характеристики барабанного змішувача СБ 2.8х6.0	11.05.2026
2	Обґрунтування системи регульованого електроприводу барабанного змішувача.	15.05.2026
3	Визначення параметрів схеми заміщення, розрахунок природних статичних та енергетичних характеристик електроприводу барабанного змішувача .	20.05.2026
4	Розрахунок штучних статичних та енергетичних характеристик електроприводу барабанного змішувача при частотному керуванні	25.05.2026
5	Дослідження динамічних режимів електроприводу барабанного змішувача у MATLAB/Simulink.	1.06.2026
6	Розрахунки системи цехового електропостачання	05.06.2026
7	Оформлення пояснювальної записки та презентації випускної роботи. Перевірка на антиплагіат.	10.06.2026

Дата видачі завдання 05.05.2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ **Мазур Є.Ю.**

(підпис)(ПІБ)

Керівник роботи _____ **Титюк В.К.**

(підпис) (ПІБ)

ЗМІСТ

Реферат	5
Вступ	7
Розділ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ’ЄКТУ ТА ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.....	9
1.1 Характеристика технологічного процесу	9
1.2 Експлуатація барабанного змішувача для змішування компонентів шихти	11
1.3 Монтаж приводу на приводний рамі.....	11
1.4 Обкатка.....	12
1.5 Керівництво по експлуатації барабанних змішувачів СБ 2,8х6,0	13
1.6. Загальний вид обладнання.	15
1.7 Вимоги до автоматизованого електроприводу барабанного змішувача	17
Висновки до розділу 1	18
Розділ 2 Аналіз системи електропривода барабанного змішувача СБ 2,8х6,0	19
2.1 Обґрунтування і вибір системи керування електроприводу.....	19
2.2 Розрахунок потужності і вибір електродвигуна	20
2.3 Розрахунок перетворювача та елементів силової частини	21
2.4 Складання схеми заміщення, математичний опис і розрахунок механічних і енергетичних характеристик	23
2.5 Математичне моделювання динамічних режимів асинхронного двигуна барабанного змішувача у MATLAB/Simulink	28
2.6 Динамічні режими регульованого електроприводу барабанного змішувача	29
2.7 Розробка заходів з енергозбереження електроприводом механізму.....	30
Висновки до розділу 2	34
Розділ 3 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЦЕХОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	35
3.1 Розрахунок електричних навантажень на стороні 0,4 кВ	35
3.2 Вибір трансформатора на стороні 0,4 кВ.....	38
3.3 Розрахунок струму короткого замикання в точці К2 напругою 0,4 кВ.....	39
3.4 Розрахунок кабельної лінії на стороні 0.4 кВ.....	40
3.5 Вибір високовольтних вимикачів на стороні 6 кВ.....	41
Висновки до розділу 3	42
Висновки по роботі	43
Перелік використаних джерел	45

					КНУ РБ.141.26.250с.5.3М			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис		Зміст			
Розроб.		Мазур С.Ю.						
Перевір.		Титюк В.К.						
Реценз.								
Н. Контр.		Титюк В.К.						
Затверд.		Пересулько І.І.			ЕМ гр. ЕЕМ-23ск			
					Літ.	Арк.	Аркушів	
						4		

Реферат

45 сторінок, 4 таблиці, 13 рисунків, 10 джерел літератури.

Тема випускної роботи: Модернізація електромеханічного обладнання барабанного змішувача СБ 2.8х6.0 в умовах АТ «ПівдГЗК».

Мета роботи: визначення вимог, що висуваються до електроприводу, вибір силового обладнання, аналіз статичних та динамічних режимів роботи.

У випускній роботі у повному об'ємі використані різноманітні методи дослідження, такі як математичні розрахунки, графічні побудови, математичні залежності та теоретичні положення з курсів «Теорія електропривода», «Електричні машини», «Теоретичні основи електротехніки», «Теорія автоматичного керування». Також виконано моделювання системи привода у програмному пакеті Matlab для отримання графічних залежностей перехідних процесів у різних режимах роботи.

У випускній роботі розглянуті наступні питання:

- 1) Характеристика барабанного змішувача і вимоги до його електропривода.
- 2) Розробка системи електропривода і вибір обладнання.
- 3) Дослідження статичних режимів роботи електропривода.
- 4) Розрахунок енергетичних характеристик.
- 5) Розрахунок, побудова і аналіз перехідних процесів.
- 6) Розробка заходів з енергозбереження електропривода механізма.
- 7) Розрахунок електропостачання барабанного змішувача.

Ключові слова: барабанний змішувач, асинхронний двигун, перетворювач частоти, математична модель, електропостачання

					КНУ РБ.141.26.250с.5.РФ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Мазур Є.Ю.			Реферат			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Титюк В.К.								5	
Реценз.								ЕМ гр. ЕЕМ-23ск			
Н. Контр.		Титюк В.К.									
Затверд.		Пересунько І.І.									

					КНУ РБ.141.26.250с.5.РФ	Лист
						6
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

Вступ

Південний гірничо-збагачувальний комбінат (Південний ГЗК) – перший гірничо-збагачувальний комбінат Криворізького залізорудного басейну, розташований у м. Кривий Ріг (Дніпропетровська область). Перша черга стала до ладу 1955 р, друга – в 1961 р. Сировинну базу комбінату складають кварцити Скелеватського родовища, яке знаходиться у центральній частині Криворізького залізорудного басейну у районі замикання Західно-Інгулецької синкліналі. Продуктивним є сьомий залізистий горизонт. Родовище відробляється відкритим способом, максимальний розмір рудних шматків – 1200 мм. Комбінат виробляє залізорудний концентрат і агломерат. На початок 2000 р експлуатаційні запаси магнетитових кварцитів складали 1220 млн. т. з часткою заліза 34,6 мас.% при середньому коеф. розкриву 0,22 м³/т. У 1995 р комбінат став відкритим акціонерним товариством з державною часткою акцій 25,8%. У 1999 р випуск концентрату склав 7,91 млн.т, агломерату – 4,0 млн. т, продукції реалізовано на 871 млн. грн.

Стан запасів на 01.01.2003 р. по кар'єру ПівдГЗКа: розкритих запасів 318,1 млн. т, підготовлених до розкриття 22,3 млн. т, готових до виїмки 3,6 млн. т, забезпеченість до виїмки запасами 2,5 млн.т сировини на місяць. В середньому ПівдГЗКа видобуває 34 млн.т гірничої маси руди на рік, із них сирої руди 18 млн.т/рік. Основним методом збагачення є магнітний у слабкому полі. Технологічна схема включає 3 стадії подрібнення і 4-5 стадій магнітної сепарації. У кожній стадії отримуються відходи, а промпродукт переробляється далі.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.ВС						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Мазур Є.Ю.			Вступ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Титюк В.К.								7	
Реценз.								ЕМ гр. ЕЕМ-23ск			
Н. Контр.		Титюк В.К.									
Затверд.		Пересунько І.І.									

Продукція комбінату надходить на металургійні підприємства України, Польщі, Чехії, Словачії, Югославії, Румунії. Згідно з розробленим інвестиційним проектом до 2010 р комбінат зможе стабільно працювати з річною продуктивністю по концентрату 11,1 млн.т при вмісті в ньому Fe 67-68%; по агломерату – 5,5 млн.т.

В свою чергу агломерат на одній із стадій виробництва проходить через барабанний змішувач, де ступінь змішування агломераційної шихти дуже впливає на якість агломерату. Саме з цієї причини було розроблено варіанти для збільшення продуктивності змішувача і якості змішування агломераційної шихти.

Одним із варіантів вдосконалення є встановлення на асинхронний двигун з короткозамкненим ротором перетворювача частот, що дозволить міняти швидкість обертання барабану при цьому не буде змінюватися його потужність.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.ВС	Лист
						8
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

Розділ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ'ЄКТУ ТА ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

1.1 Характеристика технологічного процесу

Агломераційна фабрика Південного гірничо-збагачувального комбінату складається з двох корпусів спікання, обладнаних агломераційних машинах К-75-1 з площею спікання 75 м².

Транспортування шихти в бункери спікального відділення проводиться двома окремими конвеєрними потоками проектною продуктивністю 400 т/год. кожен. В даний час ця продуктивність перевищена майже вдвічі.

Для усереднення шихти кожен з потоків обладнаний барабанними змішувачами. Крім того, барабанні змішувачі встановлені на кожній агломашині.

Змішання шихти здійснюється у дві стадії в барабанних змішувачах. У першому змішувачі змішується суха або злегка зволожена шихта, до якої додають для підігріву гарячий повернення. У другій змішувач дають необхідну кількість води. Крім змішання, тут йде також і огрудкування шихти.

Проектна продуктивність змішувача при заповненні барабана на 15% і нахилі 4° 250 м/год. Потужність електродвигуна за паспортом 55 кВт. З нахилом в 4 ° встановлені тільки первинні барабанні змішувачі. Змішувач барабанний СБ-2,8х6,0 призначений для змішування, зволоження і часткового огрудкування шихти перед її подачею на агломашину. Барабан встановлений на демпфуючі катки з металевим ободом.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.01.Р1							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Мазур Є.Ю.			Опис технологічного устаткування				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Титюк В.К.									9	
Реценз.									ЕМ гр. ЕЕМ-23ск			
Н. Контр.		Титюк В.К.										
Затверд.		Пересунько І.І.										

Для підвищення плавності обертання барабан виконаний з оптимальної кількості секцій зі зварними посиленими бандажами, обробленими спільно з посадочними розмірами фланців спеціальне ущільнення елеваторного типу виключає утворення просипу шихти між стаціонарної течкою завантажувального пристрою і обертовим барабаном вібраційне пристрій, яким обладнана завантажувальна тічка, перешкоджає налипанню шихти на її стінки пневмогідравлічні форсунки, застосовані в системі зволоження, дозволяють використовувати технічну воду система мастила підшипникових вузлів і робочих поверхонь зубчастого зачеплення і бандажів автоматична.

Основні технічні дані барабанного змішувача є:

- Продуктивність-до 250 т/од.
- Діаметр барабана - 2,8 м.
- Довжина барабана - 6 м.
- Швидкість обертання барабана - $6,3 \text{ об/хв.}$
- Редуктор А300х450, $i = 21$.

I передача $m = 3.5$, $z = 24/120$.

II передача $m = 6$, $z = 24/126$.

Для змішувачів режим можливий при швидкості обертання барабана $13,7 \text{ об/хв.}$, а циклічний режим - при $17,5 \text{ об/хв.}$. Так як швидкість обертання барабана в даний час становить 6 об/хв. , то рух шихти відбувається в режимі перекату і ефективність її змішування (по вуглецю) становить 70-75%, що явно недостатньо. Заповнення барабанів первинних змішувачів складає 11-22%. Такий широкий діапазон заповнення пояснюється коливаннями ваги шихти, що поступає.

Заповнення барабана визначали розрахунковим і досвідченим шляхами. Різниця між розрахунковою і досвідченою величинами склала 1,5%. Час перебування шихти в первинному змішувачі складає 1 хв 10 сек.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.01.P1	Лист
						10
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

1.2 Експлуатація барабанного змішувача для змішування компонентів шихти

Обладнання призначено для роботи в довготривалий неперервний режим, фонд робочого часу 7920 год.

Пуск в роботу здійснюється в наступному порядку:

- Подається світловий і звуковий сигнал про початок роботи.
- Включають транспортні прилади за змішувачем.
- Включають привод очисного пристрою.
- Включають привод обертання барабана.
- Подається матеріал в барабан включенням транспортних пристроїв.

Включається подача води на форсунку вручну вентиляції.

1.3 Монтаж приводу на приводний рамі

1.3 Монтаж приводу на приводний рамі

Перед установкою вузлів приводу на раму уважно оглянути раму, очистити від бруду та іржі посадочні місця під електродвигун, редуктор і проміжний вал з підвенцевою шестернею.

Встановити на раму вузли приводу: промвал, редуктор, електродвигун, виконавши попередню центрівку.

Приводну раму із змонтованим на ній приводом виставляють щодо змонтованого барабана. При цьому домагаються однакових по довжині зуба підвенцевої шестерні радіальних і бічних зазорів.

Рама приводу з вузлами повинна бути виставлена точно горизонтально за допомогою прокладок.

Порядок встановлення приводної рами такий же, як і рами барабана.

Зачеплення зубчастого вінця і підвенцевої шестерні перевіряється на фарбу, провертанням вручну моторну муфту привода барабана.

При цьому місце контакту має бути:

- по довжині зуба - не менше 50 % до його довжини;

					КНУ РБ.141.26.250с.5.01.Р1	Лист
						11
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

- по висоті зуба - не менше 40 % до висоти профілю зуба.

При центрівці електродвигуна радіальне зміщення осей валів двигуна і редуктора допускається не більше 0,1 мм, а допустимий перекіс - не більше 1 мм на метр довжини.

1.4 Обкатка

Обкатка проводиться після закінчення терміну витримки підливи рам. Перед обкаткою ще раз перевірити правильність монтажу всіх механізмів, надійність кріплення, відсутність сторонніх предметів в барабані і ін.

Перевірити наявність густого мастила в порожнинах усіх підшипникових вузлів, а також рівень масла в редукторі, зубчасту передачу вінець-шестерня необхідно змастити густий графітним мастилом.

Рекомендується почати обкатку з ручного прокручування для перевірки правильності взаємодії всіх елементів. Після ручного прокручування проводиться обкатка на холостому ході від електродвигуна. Холоста обкатка здійснюється протягом 1 години.

У процесі холостий обкатки перевіряється робота приводу, опорних та упорних роликів, електрообладнання.

Робота зубчастих зачеплень повинна бути плавною, з рівномірним шумом. У разі виникнення ненормального шуму машину слід негайно зупинити, з'ясувати причину та усунути її. При обертанні барабана ривків і різких здригання не допускається.

У процесі обкатки необхідно спостерігати за температурою підшипників, яка не повинна перевищувати температуру навколишнього повітря більш ніж на 30 °.

У разі неухильного підвищення температури підшипників необхідно зупинити машину і, встановивши причину перегріву підшипників, негайно її усунути.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.01.Р1	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			12

Необхідно також спостерігати за роботою централізованої мастила: подачі мастила до змащуванні точкам контролюється по видимого переміщення штоків поршень живильників. Необхідно прослідкувати, щоб при подачі мастила з магістралі спрацьовували всі живильники.

1.5 Керівництво по експлуатації барабанних змішувачів СБ 2,8х6,0

При прийманні зміни необхідно перевірити:

- Стан поверхні кочення опорних і упорних роликів, надійність посадки на осях.
- Надійність кріплення бандажів до корпусу барабана.
- Справність захисного кожуха зубчастого вінця і ін. огорож.
- Достатність надходження мастила до вузлів тертя.
- Не забита чи шихтою завантажувальна воронка і розвантажувальна камера.
- Роботу вузлів приводу (редуктор, муфти, промвал).
- Забороняється робота змішувального барабана:
 - а) при зачіпанні нерухомих частин змішувача за обертовий барабан.
 - б) при перевищенні температури підшипників над температурою навколишнього середовища більше 30 ° С.

Поточне обслуговування :

- Слідкувати за тим, щоб бандаж по всій ширині поверхні кочення торкався кожного ролика.
- Щоб уникнути передчасного зносу роликів і бандажів і появи конусності на поверхні катання часткові торкання їх не допускається.
- При нормальній роботі робочі поверхні роликів повинні бути рівними і блискучими, заклинювання роликів не допускається; температура корпусів підшипникових опор роликів не повинна перевищувати температуру навколишнього середовища більше ніж на 30 °.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.01.Р1	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			13

- Перевірку здійснювати візуально, за допомогою термометра опору, на дотик.
- Перевіряти роботу приводу змішувального барабана - не допускати течі масла, появи стороннього шуму, вібрацій, стукоту в редукторі і відкритої зубчастої передачі.
- Робота зачеплень зубчастих коліс повинна бути плавною. Перевірку здійснювати візуально, на слух.
- Перевірити роботу пристрою для зволоження шихти - розбризкування води на форсунках повинно здійснюватися у вигляді тонко розпорошеного водяного конуса (кут конуса 120°).
- Перевірити надходження мастильного матеріалу до вузлів тертя підшипників опорних роликів, упорних роликів, а також підшипників підвенцової шестерні, зачеплення відкритої передачі, поверхонь катання опорних роликів і бандажів.
- Не допускати появи на робочих поверхнях опорних роликів, упорних роликів і бандажів явищ наклепу у вигляді луцення, наявності канавок або накатів (напливів металу) до 5мм. Не допускати нерівностей на робочих поверхнях зубів відкритої зубчастої передачі.
- Для мастила підшипникових вузлів рекомендується мастило ИП-1-З (взимку) і ИП-1-Л (влітку).
- Для мастила зачеплення відкритої зубчастої передачі рекомендується мастило графітне УС А (ГОСТ 3833-55).
- Рекомендуються наступні режими змащення (Інструкція на монтаж та експлуатацію № І-2189.00-2):
 - а) зачеплення відкритої зубчастої передачі - один раз за 8 годин по 150 см³ мастила.
 - б) підшипникові вузли - один раз за 4-5 годин по 1,5-2 см³ мастила.
 - в) кількість масла, що заливається у ванну редуктора, його марка та періодичність зміни повинна відповідати в паспортах редукторів.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.01.Р1	Лист
						14
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

- Необхідно регулярно контролювати рівень масла в ваннах редукторів за масло показником. Заливку масла в редуктори слід робити через фільтр або сітку, що встановлюються в оглядові люки.

- Контроль подачі мастила у підшипники контролювати по положенню штоків поршень дозуючих живильників.

- При перевантаженні змішувачів шихтою або при забиванні течок змішувач зупинити. Навантаження контролювати за показаннями амперметра.

- Періодично проводити очищення устаткування - скупчення шихти на перекриттях і механізмах не допускається.

1.6. Загальний вид обладнання.

Основним елементом барабанного змішувача СБ 2,8х6,0 (рисунок 1.1, 1.2) є барабан 1, який ставиться на опорні ролики 8, 15, які закріплюються опорними скобами 17, на барабані також знаходиться бандаж 2, насадка перевалочна 13, роз'ємний зубчатий венець 11 і зубчатий венець 12. Барабанна конструкція знаходиться на рамі 9. Обертальний момент на барабан передається з електродвигуна 5 через муфти 6,7 і редуктор 4. Завантажується барабан через воронку для загрузки 3, а розвантажується через камеру для розвантаження 14. Також є ще затвор 10 і гвинтовий упор.

Щоб детальніше побачити загальний механізм передачі обертального моменту приведена кінематична схема привода на рис. 1.3.

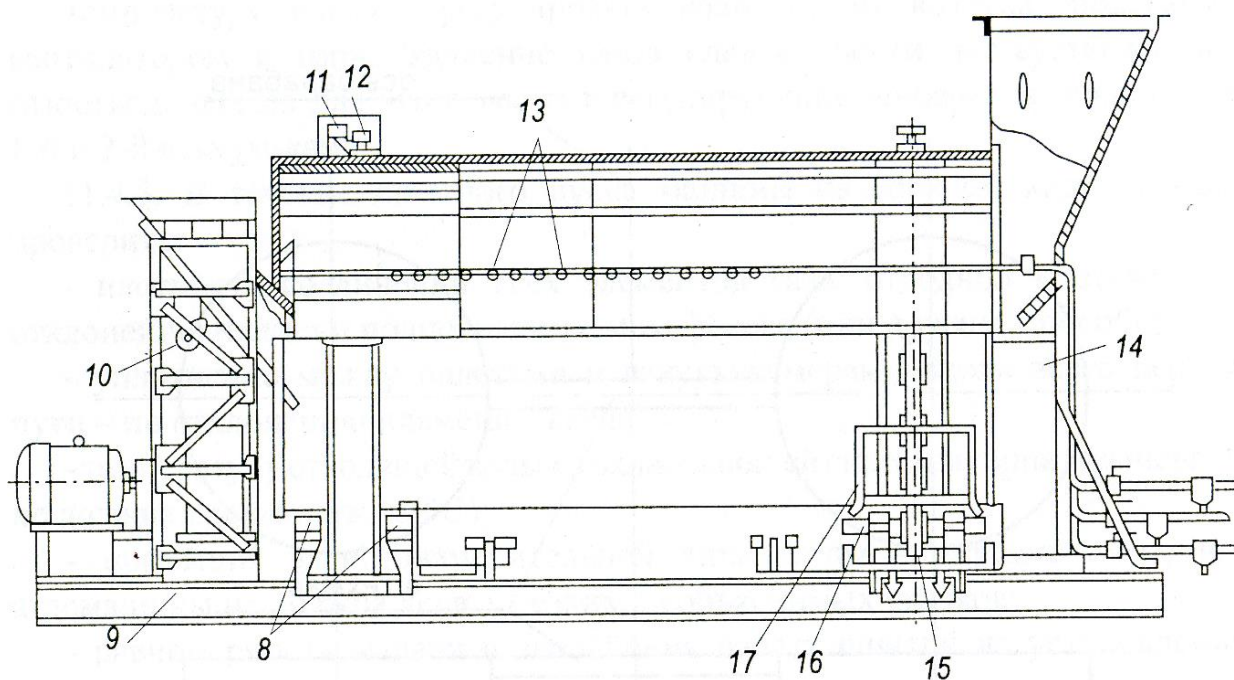


Рисунок 1.1 – Барабанний змішувач СБ 2,8х6,0 , вид збоку

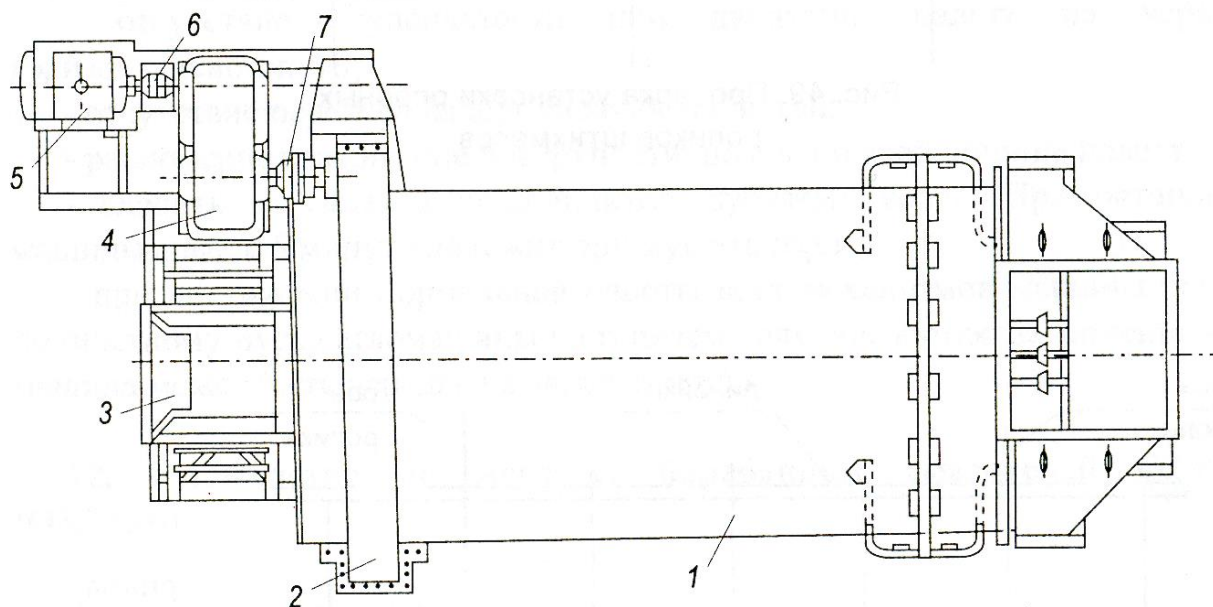


Рисунок 1.2 – Барабанний змішувач СБ 2,8х6,0 , вид зверху

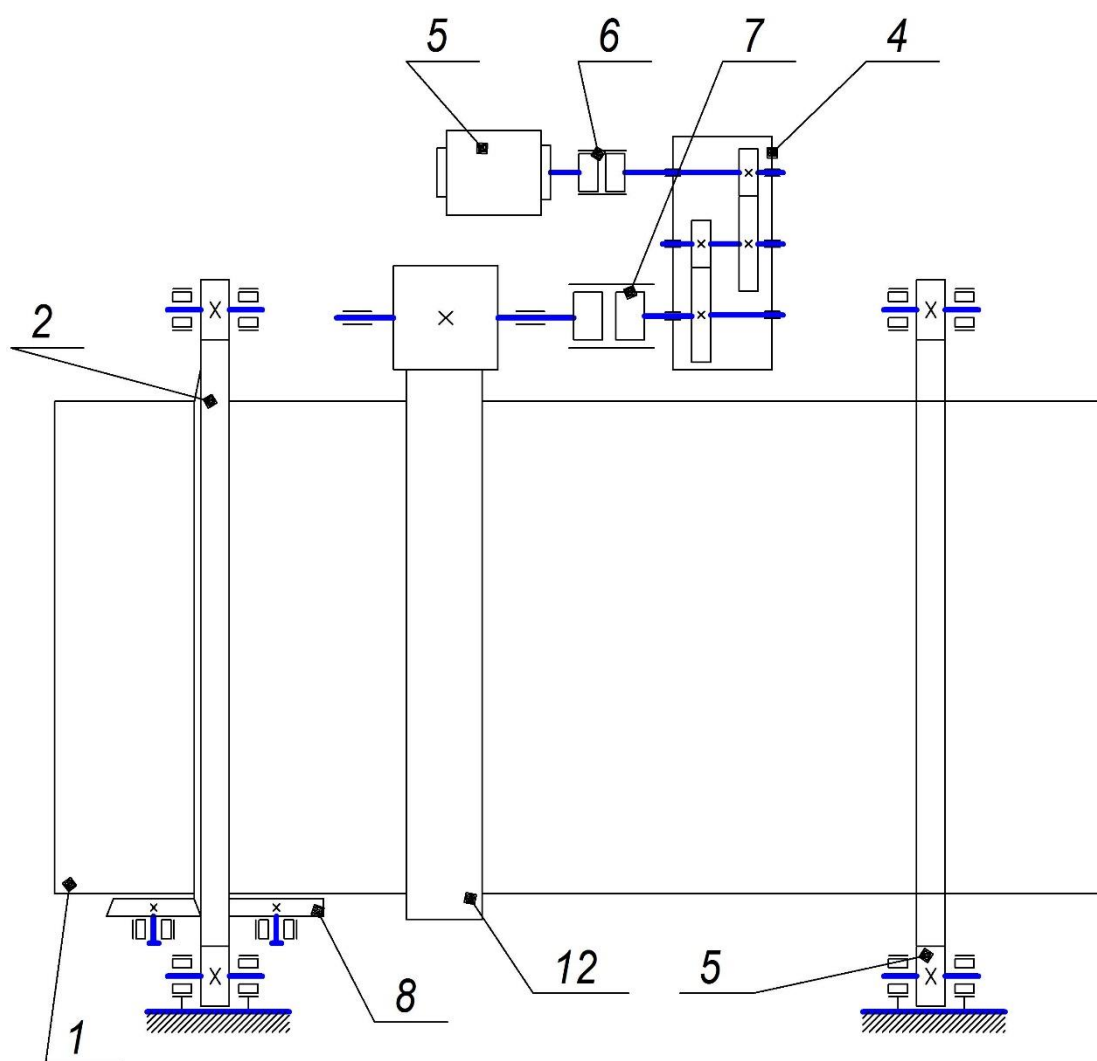


Рисунок 1.3 – Кінематична схема привода барабанного змішувача СБ 2,8х6,0

1.7 Вимоги до автоматизованого електроприводу барабанного змішувача

Барабанний змішувач експлуатується вкрай несприятливих умовах: у приміщеннях, що містять пари активних речовин і характеризуються підвищеною вологістю, забрудненістю, високою температурою навколишнього середовища. Це висуває жорсткі вимоги щодо безпеки та простоти обслуговування електроустаткування, надійності його роботи. Приводний двигун повинен мати закрите виконання і володіти підвищеним пусковим моментом. Безперервний, односпрямований характер роботи

конвеєрів визначає тривалий режим роботи електропривода, який виконується нереверсивний.

Важливою вимогою, що пред'являються до електроприводу, є забезпечення плавності пуску і гальмування з надійним обмеженням прискорення та ривка, а також максимального моменту двигуна і його похідної. Останні вимоги обумовлені наявністю великих мас, що рухаються поступально, приведений момент інерції яких може на порядок перевищувати момент інерції електродвигуна. Різке зростання моменту при наявності пружних механічних зв'язків викликає механічні коливання при пуску, в результаті чого барабані виникають додаткові динамічні зусилля, що призводить до механічних коливань у тяговому органі.

Висновки до розділу 1

У першому розділі розглянуто загальні відомості про технологічний процес підприємства, розглянуто місце та роль барабанного змішувача, його загальний і конструктивний вид, кінематичну схему електропривода барабанного змішувача. Наведено відомості про правила вводу в експлуатацію барабанного змішувача, наведено керівництво з поточної експлуатації обладнання, висунуто вимоги до автоматизованого електроприводу барабанного змішувача.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.01.Р1	Лист
						18
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

Розділ 2 Аналіз системи електропривода барабанного змішувача СБ 2,8х6,0

2.1 Обґрунтування і вибір системи керування електроприводу.

Реалізувати електропривод, що відповідає даним вимогам можна наступними способами:

Частотно-регульований електропривод (ПЧ-АД).

Основними перевагами цієї системи є:

- Плавність регулювання і висока жорсткість механічних характеристик, що дозволяє регулювати швидкість в широкому діапазоні.
- Двигун працює з малими величинами абсолютного ковзання, а втрати в двигуні не перевищують номінальних.

Основними недоліками даного способу є:

- Висока вартість (особливо для приводів великої потужності) перетворювачів частоти.
- Складність реалізації більшості схем.

Тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун (ТРН-АД).

Основні переваги:

- Надійність в експлуатації.
- Висока якість регулювання основних координат електропривода.
- Низькі затрати на наладку та обслуговування.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.02.Р2						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Мазур Є.Ю.			Аналіз електропривода барабанного змішувача			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Титюк В.К.								19	
Реценз.								ЕМ гр. ЕЕМ-23ск			
Н. Контр.		Титюк В.К.									
Затверд.		Пересунько І.І.									

Основні недоліки:

- Малий діапазон регулювання.
- Потужність двигуна у системі ТРН-АД повинна бути в 1,2-1,3 рази більша, ніж потужність механізму.
- Значні втрати потужності.

З урахуванням усіх переваг та недоліків вищезазначених систем, обираємо електропривод у системі ПЧ-АД.

2.2 Розрахунок потужності і вибір електродвигуна

В якості приводного барабана змішувача використовують електродвигун змінного струму – асинхронний з коротко замкнутим або фазним ротором. Потужність двигуна привода барабана знаходимо по формулі [5]:

$$\begin{aligned} P &= 125 \cdot 10^{-4} \cdot \gamma \cdot D^3 \cdot k \cdot L \cdot \omega = \\ &= 125 \cdot 10^{-4} \cdot 2650 \cdot 2.8^3 \cdot 0.02 \cdot 6 \cdot 0.628 = 54.799 \text{ кВт} \end{aligned} \quad (2.1)$$

де λ – насипна вага матеріалу барабана, Н/м³;

D – діаметр барабана, м;

k – коефіцієнт, який залежить від коефіцієнта заповнення барабана;

L – довжина барабана, м;

ω – швидкість обертання барабана, рад/сек.

По каталогу вибираємо двигун А-91-6 з технічними даними:

- Номінальна активна потужність $P_{ном} = 55$ кВт.
- Номінальна напруга $U_{ном} = 380$ В.
- Синхронна швидкість $n_c = 1000$ об/хв.
- Номінальна швидкість $n_{ном} = 980$ об/хв..
- Номінальне ковзання $s_{ном} = 0.02$ %.
- Номінальний ККД $\eta = 0.91$ %.
- Номінальний коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{ном} = 0.87$.

- Пусковий струм $\frac{I_n}{I_{ном}} = 5$.
- Момент пусковий $\frac{M_n}{M_{ном}} = 1$.
- Максимальний момент $\frac{M_{макс}}{M_{ном}} = 1.8$.
- Момент інерції $J = 7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

2.3 Розрахунок перетворювача та елементів силової частини

Транзисторний перетворювач частот вибираємо по напрузі і потужності асинхронного двигуна, за умовою:

$$P_{нпч} \geq P_{над} \quad (2.2)$$

$$U_{жив.пч} \geq U_{над} \quad (2.3)$$

Порівнявши дані вибираємо ТПЧ фірми Lenze 8200 Vector типу E82EV553K4B2xx з такими даними:

- Потужність - 55 кВт.
- Вихідна частота - 650 Гц.
- Частота інвертування - 1 кГц.
- Напруга живлячої мережі - 380 В.
- Вихідна напруга(діюче значення):
 - номінальне значення - 550 В.
 - межі зміни - 320-550 В.

Вибір струмообмежуючого реактора.

Визначимо струмообмежуючий реактор по пусковому струму, бо якщо ми будемо рівнятися на номінальний струм статора не зможемо запустити асинхронний двигун, отже :

Визначаємо номінальний струм статора:

$$I_{1н} = \frac{P_{ном} \cdot 10^3}{3 \cdot U_{ном} \cdot \eta \cdot \cos \varphi_{ном}} = \frac{55 \cdot 10^3}{3 \cdot 380 \cdot 0.91 \cdot 0.87} = 60.939 \text{ А}, \quad (2.4)$$

Визначаємо пусковий струм:

$$I_n = I_{1n} \cdot 5 = 60.939 \cdot 5 = 304.696 \text{ А}, \quad (2.5)$$

З даного списку струмообмежуючих реакторів вибираємо найближчий з номінальним струмом більшим або таким самим як пусковий струм АД, отже отримуємо струмообмежуючий реактор типу РТСТ -410-0,076УЗ з такими технічними даними:

- Номінальна лінійна напруга живлячої мережі - 380 В.
- Номінальний фазний струм - 410 А.
- Номінальна індуктивність фази - 0,076 мГн.

Активний опір обмотки - 43,2 мОм.

Вибір згладжуючого дроселя.

Визначимо згладжуючий дросель по номінальному струму, отже :
Визначаємо номінальний пусковий струм :

$$I_D = I_{1n} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} = 60.939 \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} = 49.757 \text{ А}, \quad (2.6)$$

З даного списку струмообмежуючих реакторів вибираємо найближчий з номінальним струмом більшим або таким самим як пусковий струм АД, отже отримуємо струмообмежуючий реактор типу РТСТ-82 з такими технічними даними:

- Номінальний фазний струм - 82 А .
- Номінальна індуктивність фази - 0,505 мГн.
- Активний опір обмотки - 0,037 Ом.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.02.Р2	Лист
						22
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

2.4 Складання схеми заміщення, математичний опис і розрахунок механічних і енергетичних характеристик

Визначаємо параметри Т-подібної схеми заміщення АД, яка наведена на рис. 2.1, за паспортними даними:

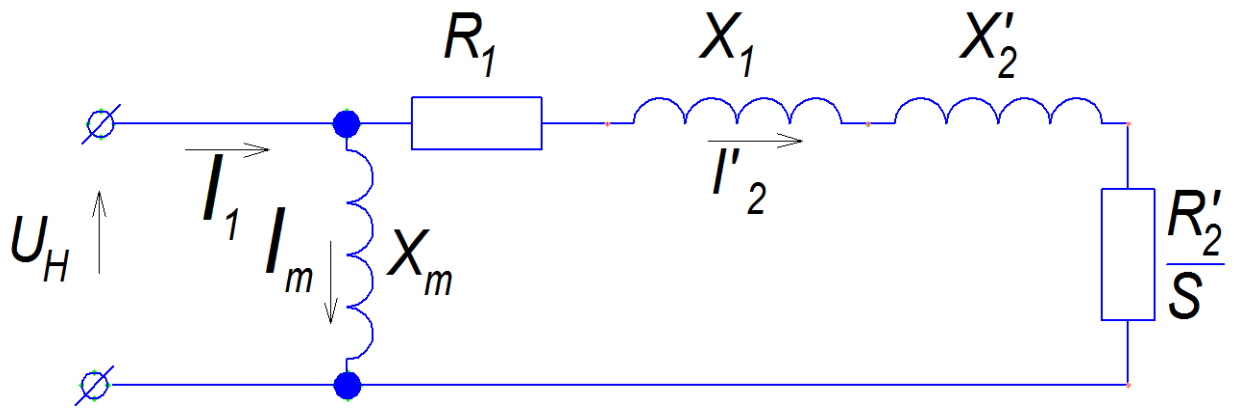


Рисунок 2.1 – Т – подібна схема заміщення АД

Визначаємо номінальний момент:

$$M_{ном} = \frac{9550 \cdot P_{ном}}{n_c} = \frac{9550 \cdot 55}{1000} = 525.25 \quad \text{Н} \cdot \text{м}. \quad (2.7)$$

Визначаємо пусковий момент:

$$M_{\Pi} = 1 \cdot M_{ном} = 1 \cdot 525.25 = 525.25 \quad \text{Н} \cdot \text{м}. \quad (2.8)$$

Визначаємо пусковий коефіцієнт потужності:

$$\begin{aligned} \cos \varphi_{\Pi} &= \cos \varphi_{ном} \cdot \left[1 \cdot \frac{\eta}{(1-s_{ном}) \cdot 5} + 5 \cdot \frac{1}{3} \cdot (1-\eta) \right] = \\ &= 0.87 \cdot \left(1 \cdot \frac{0.91}{(1-0.02) \cdot 5} + 5 \cdot \frac{1}{3} \cdot (1-0.91) \right) = 0.292 \end{aligned} \quad (2.9)$$

Визначаємо коефіцієнт К за формулою:

$$K = \frac{90 \cdot U_{ном}^2}{\pi \cdot n_c} = \frac{90 \cdot 380}{3.14 \cdot 1000} = 4139. \quad (2.10)$$

Визначаємо повний опір двигуна під час пуску:

$$Z_{к.з} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 5 \cdot I_{1н}} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 5 \cdot 60.939} = 0.947 \text{ Ом.} \quad (2.11)$$

Визначаємо активний опір ротора:

$$R_2 = \frac{M_{II} \cdot z_{к.з}^2}{K} = \frac{525.25 \cdot 0.947^2}{4139} = 0.114 \text{ Ом.} \quad (2.12)$$

Визначаємо індуктивний опір розсіювання ротора:

$$X_{к.з} = z_{к.з} \cdot \sin(a \cos(\cos \varphi_{II})) = 0.947 \cdot \sin(a \cos(0.292)) = 0.906 \text{ Ом.} \quad (2.13)$$

Для економічної роботи привода необхідно підтримувати значення переважувальної здатності по моменту на всьому діапазоні регулювання швидкості обертання двигуна, тому обираємо закон керування $U/f = \text{const}$.

2.4.1 Механічні характеристики асинхронного двигуна

Знаходимо механічні характеристики асинхронного двигуна при частоті живлення 50Гц.

Розраховуємо синхронну кутову швидкість АД:

$$\omega_{0.н} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_n}{3} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50}{3} = 104.72 \text{ 1/с.} \quad (2.14)$$

Зміна швидкості АД від 0 до 104.6 с^{-1} з кроком 0.1 с^{-1} .

Визначаємо частоту в відносних одиницях.

$$\varphi = \frac{f}{f_n} = \frac{50}{50} = 1 \quad (2.15)$$

Формула для побудови механічних характеристик АД:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot (U_{ном} \cdot \varphi)^2 \cdot \frac{R_2 \cdot \omega_{0.н} \cdot \varphi}{\omega_{0.н} \cdot \varphi - \omega}}{\omega_{0.н} \cdot \varphi \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2 \cdot \omega_{0.н} \cdot \varphi}{\omega_{0.н} \cdot \varphi - \omega} \right)^2 + (X_{к.з} \cdot \varphi)^2 \right]} \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.16)$$

Аналогічно знаходимо частоту у відносних одиницях і враховуємо її в формулі (2.16) для побудови механічних характеристик частот 40, 30, 20 Гц.

Будуємо механічні характеристики асинхронно двигуна при різних частотах:

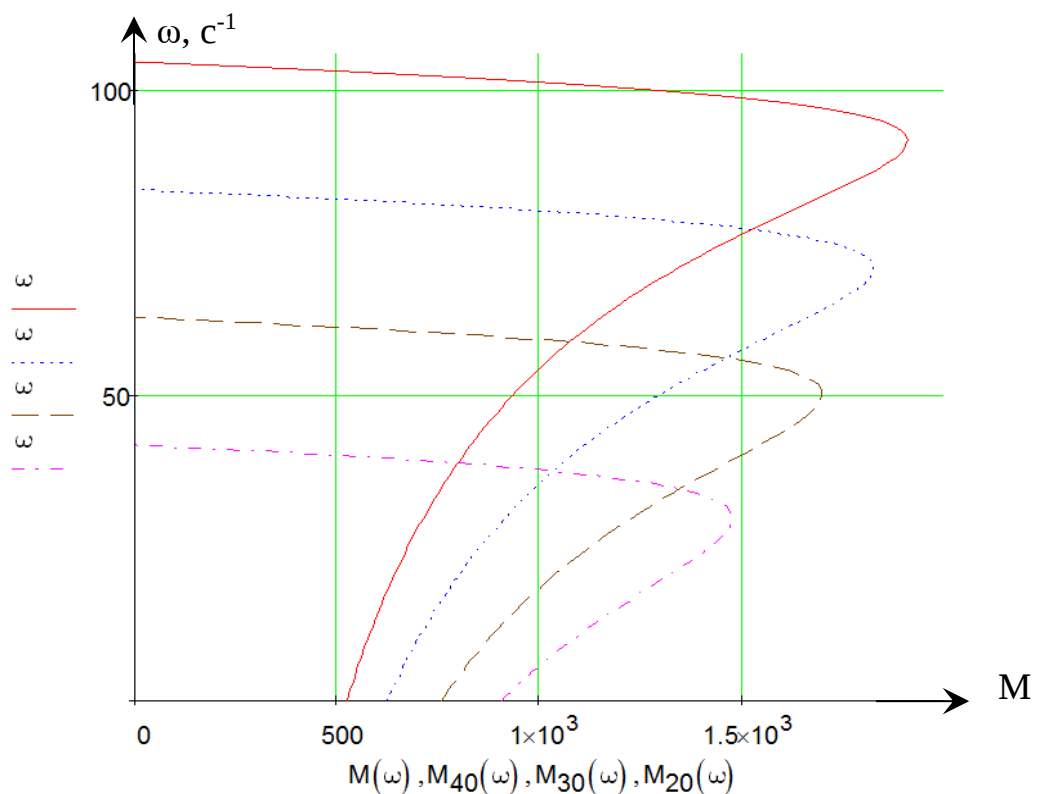


Рисунок 2.2 – Механічні характеристики асинхронного двигуна при різних частотах живлення

2.4.2 Швидкісні характеристики асинхронного двигуна

Формула для побудови швидкісної характеристики АД:

$$I(\omega) = \frac{U_{ном} \cdot \varphi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2 \cdot \omega_{0.н} \cdot \varphi}{\omega_{0.н} \cdot \varphi - \omega}\right)^2 + (X_{к.з} \cdot \varphi)^2}} \quad (2.17)$$

Будуємо швидкісні характеристики асинхронного двигуна при різних частотах живлення:

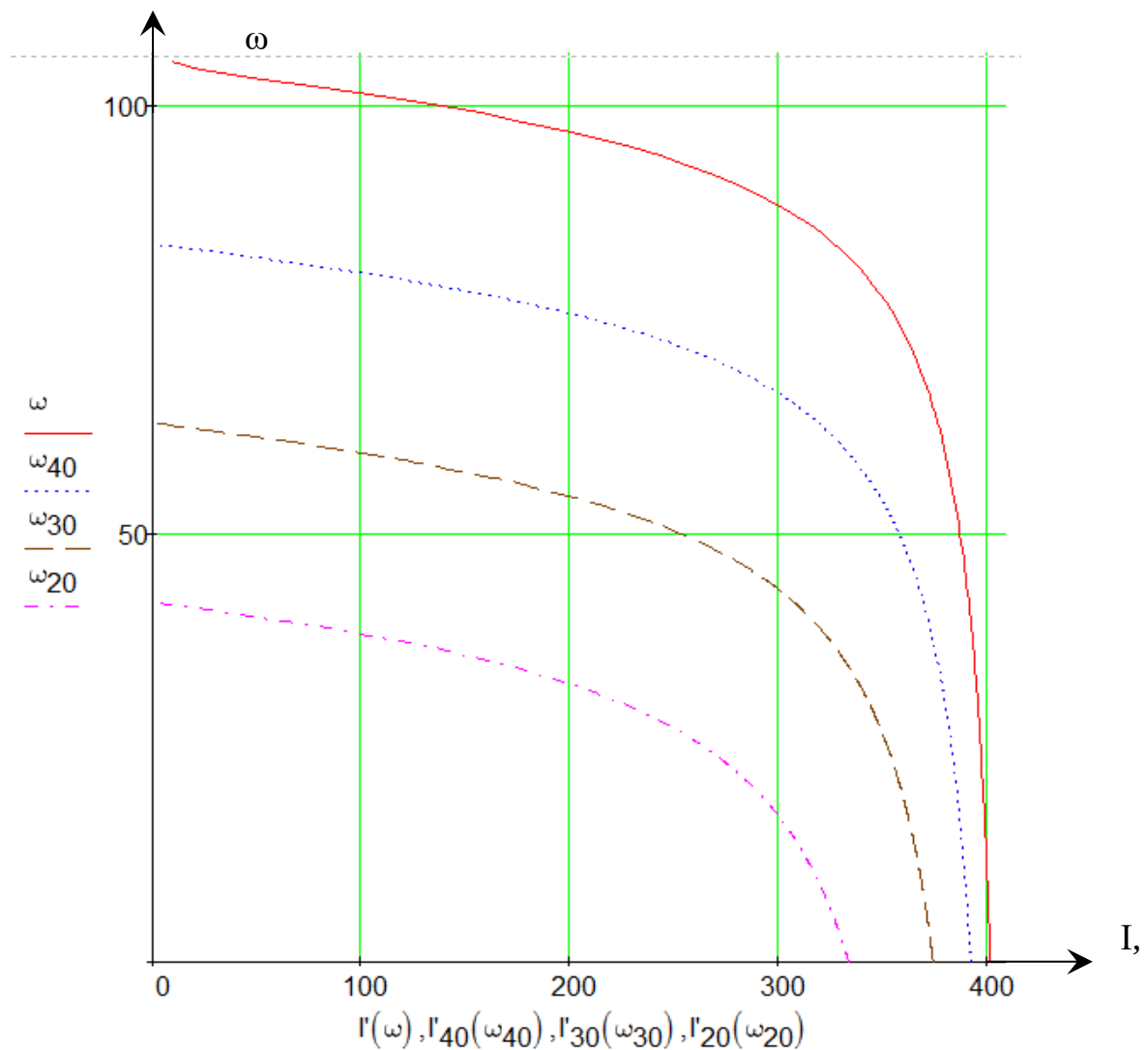


Рисунок 2.3 – Швидкісні характеристики асинхронного двигуна при різних частотах живлення

2.4.2 Енергетичні характеристики електроприводу.

Коефіцієнт корисної дії електроприводу розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{M \cdot \omega}{M \cdot \omega + \Delta P_{\Sigma}} \cdot 100\% . \quad (2.18)$$

де ΔP_{Σ} - загальні втрати потужності у системі електроприводу, які визначаються:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{noc}} + \Delta P_{\text{змін}} \text{ Вт.} \quad (2.19)$$

Постійні втрати потужності визначаються за формулою:

$$\Delta P_{\text{noc}} = K_{\text{мех}} \cdot P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \frac{\omega_{0.н} \cdot \varphi - \omega}{\omega_{0.н} \cdot \varphi}}{1 - s_{\text{ном}}} \text{ Вт.} \quad (2.20)$$

де $K_{\text{мех}}$ - загальні коефіцієнт механічних втрат, $K_{\text{мех}} = 0.015$.

Зміні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{noc}} = M_{\text{ном}} \cdot \frac{\omega_{0.н} \cdot \varphi - \omega}{\omega_{0.н} \cdot \varphi} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + 3 \cdot I_{1н}^2 \cdot R_1 \text{ Вт.} \quad (2.21)$$

Підставляємо відповідні значення для різних частот живлення в формули з (2.18) по (2.21) будуюмо енергетичні характеристики асинхронного двигуна (рис. 2.4).

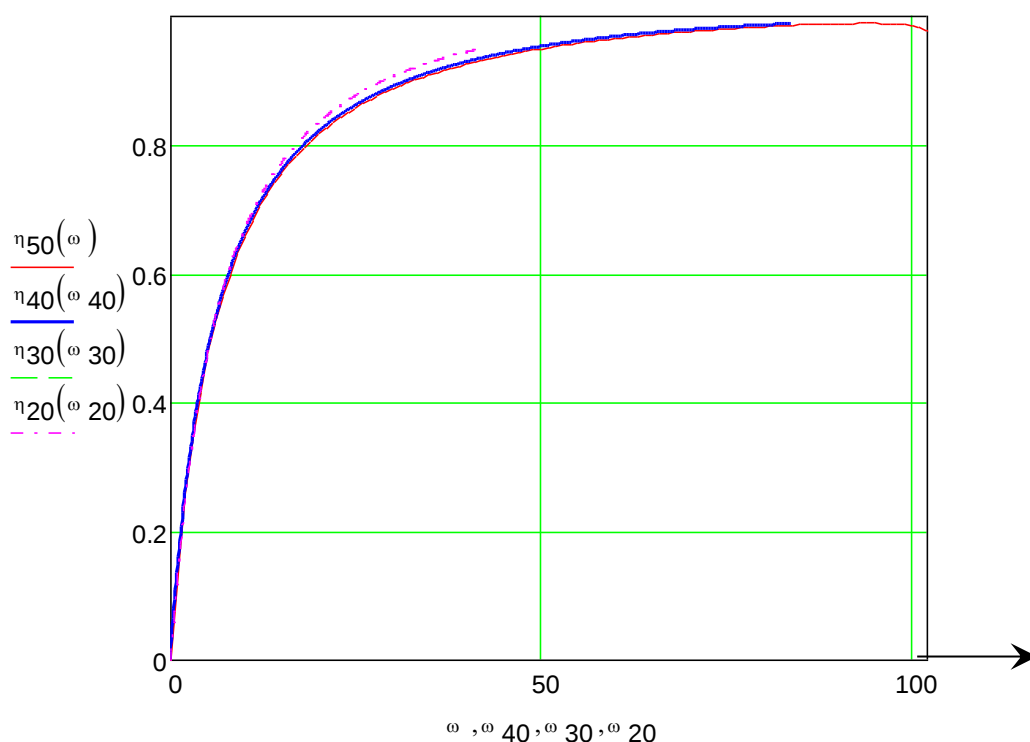


Рисунок 2.4 – Енергетичні характеристики асинхронного двигуна при різних частотах живлення

2.5 Математичне моделювання динамічних режимів асинхронного двигуна барабанного змішувача у MATLAB/Simulink

Математична модель асинхронного двигуна з урахування реактивного характеру моменту опору з використанням елементів бібліотеки SimPower наведена на рис.2.5.

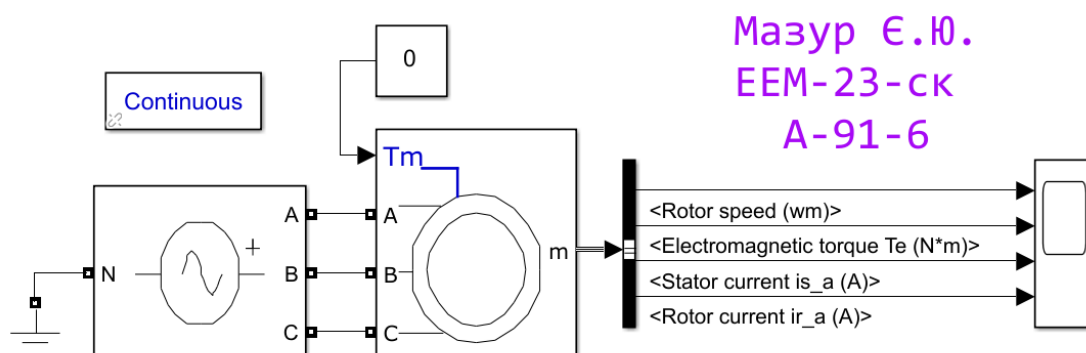


Рисунок 2.5 - Математична модель асинхронного двигуна механізму барабанного змішувача з урахування реактивного характеру моменту опору

Отримані результати розрахунків прямого пуску та накиду навантаження барабанного змішувача наведено на рис.2.6.

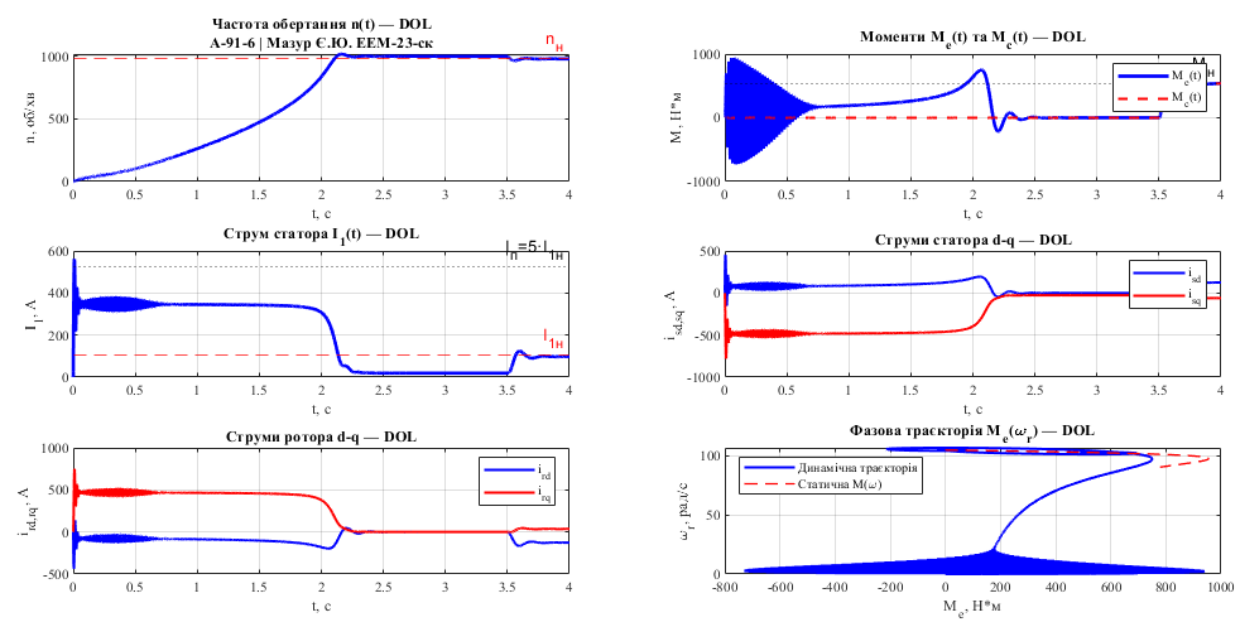
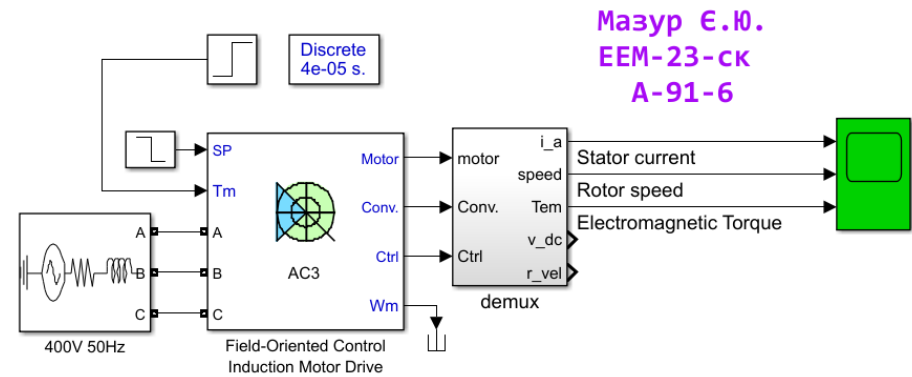


Рисунок 2.6 – Прямий пуск електроприводу барабанного змішувача з реактивним моментом опору

2.6 Динамічні режими регульованого електроприводу барабанного змішувача

Віртуальна математична модель частотно керованого асинхронного електроприводу барабанного змішувача з векторним керуванням, зображена на рис.2.7.



Мазур Є.Ю.
ЕЕМ-23-ск
А-91-6

Рисунок 2.8 – Реалізація математичної моделі асинхронного електроприводу барабанного змішувача з векторним керуванням

На рисунках 2.9 зображені часові діаграми струму статора, частоти обертання, електромагнітного моменту при плавному запуску барабанного змішувача з реактивним моментом опору.

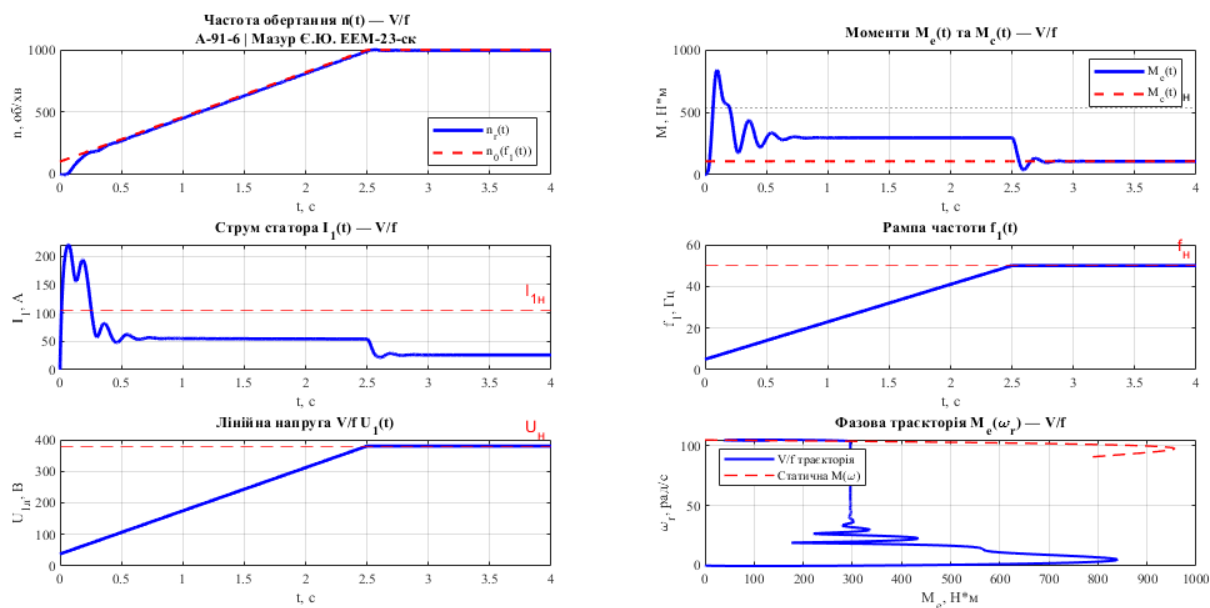


Рисунок 2.9 – Часові діаграми струму статора, частоти обертання, електромагнітного моменту при плавному запуску електропривода барабанного змішувача

2.7 Розробка заходів з енергозбереження електроприводом механізму

Розвиток математичної теорії машин змінного струму, створення удосконалених напівпровідникових приладів, використання сучасних засобів управління, включаючи мікроконтролери, дозволили створити високоякісні та надійні системи регульованих асинхронних електроприводів, які стають основним видом регульованого електроприводу.

З іншого боку, у зв'язку зі зростанням цін на електроенергію і обмеженими можливостями збільшення потужності енергогенеруючих установок проблема енергозбереження, у тому числі зниження енергоспоживання, набуває останнім часом особливої актуальності.

Основними типами регульованих асинхронних електроприводів з короткозамкненими двигунами є:

- частотно - регульований електропривод, що дозволяє задовольнити найвищі вимоги по діапазону і якості регулювання швидкості і відпрацюванні складних законів руху;
- система з реалізацією енергії ковзання - асинхронно – вентильний каскад АВК;
- система тиристорний регулятор напруги - асинхронний двигун ТРН-АД, призначена для масових електроприводів з керованими пускогальмівними режимами, режимами короткочасного зниження швидкості.

Швидкість асинхронних двигунів практично пропорційна частоті напруги мережі живлення. Таким чином, зміна швидкості обертання двигуна може бути досягнуто шляхом зміни частоти споживаного напруги. З іншого боку, момент двигуна пропорційний магнітному потоку в повітряному зазорі двигуна. Останній, у свою чергу, пропорційний живлячої напруги і назад пропорційний частоті напруги живлення. Таким чином, момент двигуна може бути змінений шляхом підстроювання живлячої напруги під будь-яку необхідну частоту.

Відповідно, використовуючи двигун змінного струму для отримання постійного моменту при змінюються швидкостях, необхідно мати джерело енергії з регульованим напругою і регульованою частотою, який буде підтримувати постійним ставлення

Найвідоміший спосіб отримання цього типу енергії - це перетворення змінного струму на промисловій частоті 50 Гц в постійний струм за допомогою випрямляча, а потім назад в змінний струм за допомогою інвертора. У цій схемі напруга регулюється випрямлячем, а частота інвертором.

Для забезпечення швидкодії електропривода в перехідних процесах розроблений метод просторового векторного управління, званий також

					КНУ РБ.141.26.250с.5.02.Р2	Лист
						31
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

управлінням з орієнтацією магнітного поля. Цей метод заснований на управлінні двома складовими статорного поля, одна з яких забезпечує потік в повітряному зазорі двигуна, а інша - момент на його валу. У результаті стає можливим швидко змінювати значення моменту в широкому діапазоні швидкостей. Індукційний двигун при такому способі управління стає подібний двигуну постійного струму з незалежним збудженням.

Керованими компонентами при реалізації методу є складові струму статора в системі обертаються координат. При цьому розрізняють пряме і непряме векторне управління. Існує багато модифікацій систем векторного управління. Зокрема, просторовий вектор обчислюється мікроконтроллером з використанням моделі, що враховує параметри конкретного типу двигуна, наприклад, активних опорів ротора, статора, індуктивності розсіювання та ін Одночасно враховується інформація, що надходить з датчика швидкості двигуна

При будь-якому способі управління за допомогою значення і частоти напруги живлення в системі електропривода необхідно мати перетворювач частоти, який може бути виконаний на основі різних схем. До появи нового покоління приладів силової електроніки для цих цілей переважно використовувалися тиристорні перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком з мережею електроживлення (ціклоконвертори) і рідше - перетворювачі з явно вираженим ланкою постійного струму зі структурою випрямляч-інвертор.

При використанні звичайних тиристорів інвертор напруги виконується за схемою з примусовою комутацією. Тиристорні перетворювачі мають ряд значних недоліків, які суттєво знижують техніко-економічні показники електроприводу в цілому. До таких недоліків відносять, перш за все, вкрай низькі масо-габаритні питомі показники і наявність вищих гармонік у вихідному напрузі, зниження яких методами ШІМ ускладнюється частотними характеристиками тиристорів. Тому для ефективного управління асинхронним

					КНУ РБ.141.26.250с.5.02.Р2	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			32

електроприводом малої та середньої потужності використовують інвертори напруги на IGBT - транзисторах з робочою частотою, що лежить за межами звукового діапазону.

Ефективність застосування частотно-регульованих асинхронних електроприводів на основі IGBT - інверторів з МСУ включає:

- енерго- і ресурсозбереження;
- істотне зниження споживання реактивної потужності з мережі;
- збільшення ресурсу роботи електричного, механічного та гідравлічного обладнання;
- автоматизація та оптимізація управління технологічними процесами.

Крім власне двоступінчастого перетворення електричної енергії - випрямлення і інвертування, силовий канал вирішує наступні завдання:

- керованої зв'язку з мережею - оперативні включення і виключення електроприводу;
- аварійних відключень електроприводу від мережі і автоматичних повторних включень;
- електромагнітної сумісності ЕМС електроприводу з мережею, в тому числі в частині індустріальних радіозавод;
- захисту елементів перетворювача та електродвигуна від недопустимих струмів і напруг;
- реалізація гальмових режимів електропривода.

Кожна з перерахованих завдань має, як правило, декілька варіантів рішення, що відрізняються схемним і апаратним виконанням відповідних вузлів силового каналу. Керована зв'язок з мережею може бути реалізована двома способами:

- використанням контактної дистанційно керованого електромагнітного апарату в поєднанні з некерованим доданими випрямлячем В;

- використанням напівкерованих діод-тиристорного випрямляча УВ без апарату КА.

Оперативне та аварійне управління КА або УВ здійснює МСУ. Застосування тієї чи іншої схеми включення визначається системою електропостачання електроприводу на об'єкті експлуатації: характеристиками мережі, складом і характеристиками комутаційного обладнання.

Основним джерелом генерування індустриальних перешкод є АІН через дуже високих швидкостей перемикання IGBT. Вхідні реактори при використанні встановленого перед ними ємнісного фільтра радіоперешкод вирішують проблему обмеження перешкод, які мають без фільтра неприпустиму величину (120-130 дБ). Фільтр придушення радіоперешкод електроприводів виконується у вигляді окремого силового модуля і містить комбінацію різних видів дроселів і конденсаторів, з'єднаних за певною схемою.

Висновки до розділу 2

У другому розділі для приводного асинхронного двигуна гвинтової барабанного змішувача СБ 2.8х6.0, наведено Т-подібну схему заміщення, виконано розрахунки її параметрів. Для асинхронного двигуна виконано розрахунок природних швидкісних, електромеханічних та енергетичних характеристик електроприводу, та характеристик електроприводу при частотному керуванні.

З використанням MATLAB/Simulink та бібліотеки SimPower створено симуляційну модель приводного асинхронного двигуна барабанного змішувача, виконано розрахунок динамічних режимів роботи з урахуванням реактивного характеру моменту опору.

Розглянуто засоби енергозбереження засобами електропривода барабанного змішувача.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.02.Р2	Лист
						34
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

Розділ 3 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЦЕХОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Розрахунок електричних навантажень на стороні 0,4 кВ

Розрахунок електричних навантажень визначається за методом впорядкованих діаграм і на підставі схеми електропостачання зображеній на рис. 3.1.

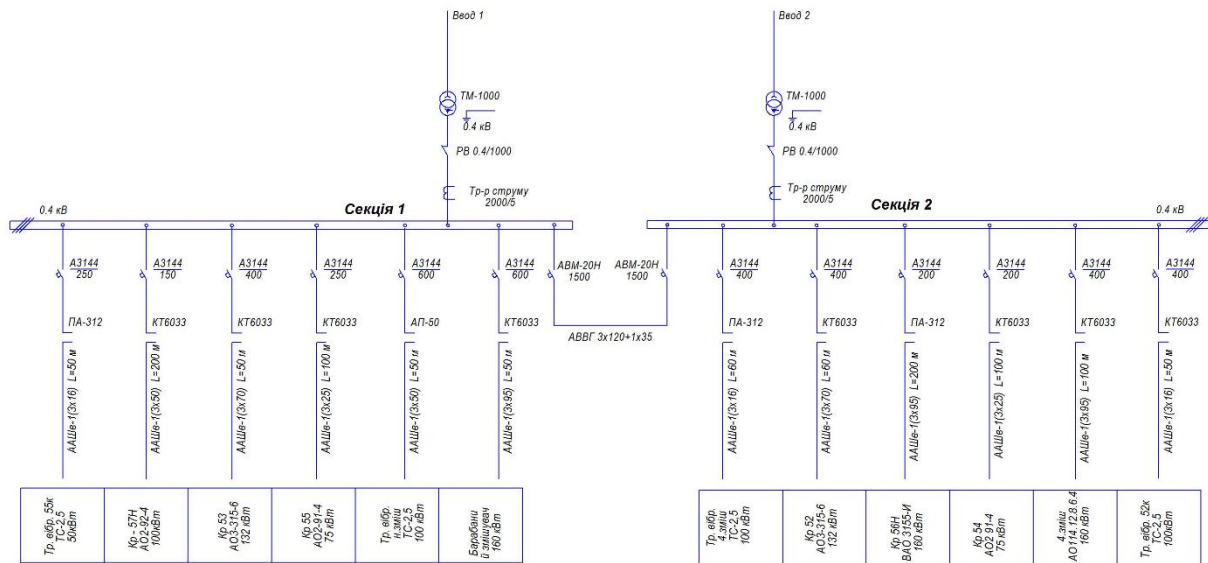


Рисунок 3.1 – Схема електропостачання аглофабрики №1

Даний метод є основним при розробці технічних і робочих проектів електропостачання. По цьому методу розрахункове максимальне навантаження групи електроприймачів визначається за формулою:

$$P_{\text{макс}} = k_{\text{макс}} \cdot k_{\text{в}} \cdot P_{\text{ном}} = k_{\text{макс}} \cdot P_{\text{зм}} \quad (3.1)$$

де $P_{\text{ном}}$ - групова номінальна потужність, яку визначають як суму номінальних потужностей електроприймачів;

$k_{\text{в}}$ - коефіцієнт використання електроприймачів;

$k_{\text{макс}}$ - коефіцієнт максимуму;

					КНУ РБ.141.26.250с.5.03.РЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Мазур С.Ю.						
Перевір.		Титюк В.К.					35	
Реценз.						ЕМ гр. ЕЕМ-23ск		
Н. Контр.		Титюк В.К.						
Затверд.		Пересулько І.І.						

Для групи електроприймачів одного режиму роботи середня активне і реактивне навантаження за найбільш завантажену зміну визначаються за формулами:

$$P_{роз} = k_{\epsilon} \cdot P_{ном} \quad (3.2)$$

$$Q_{роз} = P_{роз} \cdot tg\phi \quad (3.3)$$

За наявності в групі електроприймачів різних режимів роботи формула змінюються:

$$P_{роз} = \Sigma p_{роз} = \Sigma k_{\epsilon} \cdot P_{ном} \quad (3.4)$$

$$Q_{роз} = \Sigma q_{роз} = \Sigma q_{роз} \cdot tg\phi \quad (3.5)$$

При визначенні розрахункового навантаження по встановленій потужності і коефіцієнту використання складається звітна таблиця споживачів дільниці а/ф №1. В цій таблиці вказуються споживачі електричної енергії, номінальна потужність $P_{ном}$ електроприймачів, коефіцієнт використання k_{ϵ} , коефіцієнт потужності $\cos \phi$, коефіцієнт реактивної потужності $tg\phi$, розрахункові активні $P_{роз}$ і реактивні $Q_{роз}$ потужності. Характеристики струмоприймачів наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Характеристика струмоприймачів на стороні 0,4 кВ

Група струмоприйма чів	Номінальна потужність, $P_{ном}$,кВт	Коефіцієнт використання k_{ϵ}	Коефіцієнт потужності, $\cos\phi$	Коефіцієнт реактивної потужності, $tg\phi$	Розрахункова потужність	
					Активна, $P_{роз}$, кВт	Реактивна $Q_{роз}$, кВАР
Секція 1						
Тр. Вібр. 55к	55	0,65	0,8	0,75	35,75	26,81
Кр. 57Н	100	0,65	0,8	0,75	65	48,75
К.р. 53	132	0,65	0,8	0,75	85,8	64,35
Кр. 55	75	0,65	0,8	0,75	48,75	36,56
Тр. Вібр. н.зміш.	100	0,65	0,8	0,75	65	48,75
н.зміш. АО114 12.8.6.4	160	0,65	0,8	0,75	104	78
Всього	622				404,3	303,22
Секція 2						

Тр. Вібр. 4.зміш.	55	0,6	0,7	0,85	33	28,05
Кр. 52	132	0,65	0,8	0,75	85,8	64,35
Кр. 56Н	160	0,6	0,7	0,85	96	81,6
Кр. 54	75	0,6	0,7	0,85	45	38,25
4.зміш. АО114 12.8.6.4	160	0,6	0,7	0,85	96	81,6
Тр. Вібр. 52к	100	0,6	0,7	0,85	60	51
Всього	682				415,8	344,85

Максимальна активна і реактивна потужність визначається за формулами:

$$P_{\text{макс}} = k_{\text{макс}} \cdot P_{\text{роз}} \quad (3.6)$$

$$Q_{\text{макс}} = k_{\text{макс}} \cdot Q_{\text{роз}} \quad (3.7)$$

Після визначення $P_{\text{макс}}$ і $Q_{\text{макс}}$ можна підрахувати повну потужність за формулою:

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{P_{\text{макс}}^2 + Q_{\text{макс}}^2} \quad (3.8)$$

Всі розрахунки можна звести в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристика струмоприймачів на стороні 0,4 кВ

Група струмоприйма чів	Коефіцієнт максимуму, $k_{\text{макс}}$	Розрахункова потужність		Максимальна потужність		$S_{\text{макс}}$, кВА
		Активна, $P_{\text{роз}}$, кВт	Реактивна $Q_{\text{роз}}$, кВАР	$P_{\text{макс}}$, кВт	$Q_{\text{макс}}$, кВАР	
Секція 1						
Тр. Вібр. 55к	1,34	35,75	26,81	47,91	35,93	59,88
Кр. 57Н	1,34	65,00	48,75	87,10	65,33	108,88
К.р. 53	1,34	85,80	64,35	114,97	86,23	143,72
Кр. 55	1,34	48,75	36,56	65,33	48,99	81,66
Тр. Вібр. н.зміш.	1,34	65,00	48,75	87,10	65,33	108,88
н.зміш. АО114 12.8.6.4	1,34	104,00	78,00	139,36	104,52	174,20
Всього		404,30	303,23	541,76	406,32	503,00
Секція 2						
Тр. Вібр. 4.зміш.	1,3	33,00	28,05	42,90	36,47	56,30
Кр. 52	1,3	85,80	64,35	111,54	83,66	139,43

Кр. 56Н	1,3	96,00	81,60	124,80	106,08	163,79
Кр. 54	1,3	45,00	38,25	58,50	49,73	76,78
4.змiш. АО114 12.8.6.4	1,3	96,00	81,60	124,80	106,08	163,79
Тр. Вiбр. 52к	1,3	60,00	51,00	78,00	66,30	102,37
Всього		415,80	344,85	540,54	448,31	702,46

3.2 Вибір трансформатора на стороні 0,4 кВ

Вибір числа трансформаторів, обумовлений величиною і характером електричних навантажень. Вибір трансформатора по навантаженню визначається згідно формули:

$$S_{н.тр} \geq \frac{S_{макс} \cdot k_{1-2}}{\eta_c \cdot k_{пер}}, \quad (3.9)$$

де $S_{макс} = 702.46 + 503 = 1205.46 \text{ кВА}$;

$k_{1-2} = 0,8$ - коефіцієнт, який враховує споживання 1 – 2 категорії електроприймачів;

$\eta_c = 0,9$ коефіцієнт мережі;

$k_{пер} = 1,1 - 1,3$ коефіцієнт перевантаження;

$$S_{н.тр} \geq \frac{1205.46 \cdot 0,8}{0,9 \cdot 1,1} = 974.1 \text{ кВА}$$

Вибираємо 2 трансформатори марки ТМ-1000/6/0,4. Технічні дані трансформатора ТМ-1000/6/0,4 наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 3.3 – Технічні дані трансформатора

Тип трансформатора	Номинальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруга короткого замкнення, %	Струм неробочого ходу, %
	ВН	НН	н.х	к.з		
ТМ-1000/6/0,4	6	0.4	1,5	10,8	5,5	1,2

3.3 Розрахунок струму короткого замикання в точці К₂ напругою 0,4 кВ

Струм короткого замикання визначається за формулою:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z}, \quad (3.10)$$

де $U_{\text{н}}$ - номінальна напруга лінії;

Z - сумарний опір лінії.

Сумарний опір лінії визначається за формулою:

$$Z = \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}, \quad (3.11)$$

де r_{Σ} – сумарний активний опір лінії;

x_{Σ} – сумарний індуктивний опір лінії.

Розрахуємо активний опір трансформатора за формулою:

$$r_{\text{ц.т.}} = \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{\text{ном.тр}}} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{10,8 \cdot 10^3}{1000 \cdot 10^3} \cdot \frac{400^2}{1000 \cdot 10^3} = 0,001728 \text{ Ом.} \quad (3.12)$$

Розрахуємо повний опір трансформатора за формулою:

$$Z_{\text{тр}} = \frac{U_{\kappa}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{\text{н.тр}}} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{400^2}{1000 \cdot 10^3} = 0,0088 \text{ Ом.} \quad (3.13)$$

Розрахуємо індуктивний опір трансформатора за формулою:

$$x_{\text{тр}} = \sqrt{Z_{\text{тр}}^2 - r_{\text{тр}}^2} = \sqrt{0,0088^2 - 0,001728^2} = 0,008 \text{ Ом.} \quad (3.14)$$

Опори кабелю розраховуємо за формулами:

$$r_{\kappa} = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,0175 \cdot \frac{200}{95} = 0,0368 \text{ Ом} \quad (3.15)$$

де l – довжина кабельної лінії, м;

$\rho = 0,0175 \text{ Ом} \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$ – питомий електричний опір міді;

S – перетин кабельної лінії мм^2 .

$$x_{\kappa} = x_0 \cdot l = 0,06 \cdot 0,2 = 0,012 \text{ Ом.} \quad (3.16)$$

де $x_0 = 0,06$ Ом/км опір для кабельної лінії.

Згідно з ПУЕ сумарний опір контактів при к.з. біля розподільчого пункту підстанції слід прийняти $r_{\text{конт.}} = 0,015$ Ом.

Сумарний активний опір лінії визначається за формулою:

$$r_{\Sigma} = r_{\text{ц.т}} + r_{\kappa} + r_{\text{конт.}} = 0,001728 + 0,0368 + 0,015 = 0,053528 \text{ Ом.} \quad (3.17)$$

Сумарний реактивний опір лінії визначається за формулою:

$$x_{\Sigma} = x_{\text{ц.т}} + x_{\kappa} \quad (3.18)$$

$$x_{\Sigma} = 0,008 + 0,012 = 0,02 \text{ Ом}$$

$$Z = \sqrt{0,053^2 + 0,02^2} = 0,05 \text{ Ом}$$

$$I_{\kappa.з.2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,05} = 4618,802 \text{ А}$$

Ударний струм в точці короткого замикання розраховується за формулою

$$i_{y\partial 2} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\kappa.з.2}^{(3)}$$

де $k_{y\partial}$ – коефіцієнт ударного струму приймаємо рівним 1,75.

$$i_{y\partial 2} = 1,75 \cdot \sqrt{2} \cdot 4618,802 = 11510,86 \text{ А.}$$

3.4 Розрахунок кабельної лінії на стороні 0.4 кВ

Вибір кабельної лінії по допустимому навантаженню, або по допустимому нагріву вибирається виходячи із співвідношення

$$I_{\partial.д} \geq I_p, \quad (3.19)$$

$I_{\partial.д}$ - тривало допустимий струм лінії на кабель залежно від перетину;

I_p - максимально розрахунковий струм лінії, визначений для аварійного режиму роботи мережі з врахуванням числа ліній, що працюють в цьому режимі.

Максимальний розрахунковий струм в лінії визначається за формулою:

$$I_p = \frac{S_{\text{макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (3.20)$$

					КНУ РБ.141.26.250с.5.03.РЗ	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			40

Всі дані розрахунків можна звести в таблицю 3.7.

Таблиця 3.4 – Характеристика кабельної лінії

Струмоприймачі	Напруга U, В	Смакс, кВА	I_p , А	$I_{д.д.}$, А	Тип кабелю, мм ²
Секція 1					
Тр. Вібр. 55 К	380	59,88	90,98	90	ААШВ-1(3х16)
Кр. 57Н	380	108,88	165,42	180	ААШВ-1(3х50)
К.р. 53	380	143,72	218,35	220	ААШВ-1(3х70)
Кр. 55	380	81,66	124,06	125	ААШВ-1(3х25)
Тр. Вібр. н.зміш.	380	108,88	165,42	180	ААШВ-1(3х50)
н.зміш. АО114 12.8.6.4	380	174,20	264,67	260	ААШВ-1(3х95)
Всього	380	503,00	1028,90	440	3х ААШВ-1(3х240)
Секція 2					
Тр. Вібр. 4.зміш.	380	56,30	85,54	90	ААШВ-1(3х16)
Кр. 52	380	139,43	211,83	220	ААШВ-1(3х70)
Кр. 56Н	380	163,79	248,86	260	ААШВ-1(3х95)
Кр. 54	380	76,78	116,65	125	ААШВ-1(3х25)
4.зміш. АО114 12.8.6.4	380	163,79	248,86	260	ААШВ-1(3х95)
Тр. Вібр. 52к	380	102,37	155,54	180	ААШВ-1(3х50)
Всього	380	702,46	1067,28	440	3х ААШВ-1(3х240)

3.5 Вибір високовольтних вимикачів на стороні 6 кВ

Вимикачі в залежності від застосовуваних в них дугогасительной та ізолювальної середовищ поділяються на масляні, повітряні, елегазові, вакуумні і вимикачі з магнітним гасінням дуги. Вимикачі вибирають за умовою:

$$U_{уст.} \leq U_{ном} \text{ - по номінальній напрузі;}$$

де $U_{уст.}$ - напруга установки, В;

$U_{ном}$ - номінальна напруга вимикача, В;

$$I_{роб.} \leq I_{ном.} \text{ - по номінальному струму;}$$

де $I_{роб.}$ - робочий струм лінії, А;

$I_{ном.}$ - номінальний струм вимикача, А;

$I_{кз}^{(3)} \leq I_{вик.ном.}$ - по вимикаючій здібності;

де $I_{кз}^{(3)}$ - струм короткого замикання, А;

$I_{вик.ном.}$ - номінальний струм відключення вимикача, А;

$i_{уд.}^{(3)} \leq I_{дин.}$ - по електродинамічній стійкості;

де $i_{уд.}^{(3)}$ - розрахунковий ударний струм короткого замикання, А;

$I_{дин.}$ - струм динамічної стійкості вимикача, А;

Умови вибору зводимо в таблицю 3.5

Таблиця 3.5 – Вибір вимикача на стороні 6 кВ

Розрахункові дані	Каталожні параметри вимикача	Умова вибору
Вимикач вакуумний ВРС – 6 – 40/1250 У2		
$U_{уст.} = 6кВ$	$U_{ном} = 6кВ$	$U_{уст.} \leq U_{ном}$
$I_{роб.} = 414,86 А$	$I_{ном.} = 1250 А$	$I_{роб.} \leq I_{ном.}$
$I_{кз}^{(3)} = 33115,46 А$	$I_{вик.ном.} = 40000 А$	$I_{кз}^{(3)} \leq I_{вик.ном.}$
$i_{уд.}^{(3)} = 7764,28 А$	$I_{дин.} = 128000 А$	$i_{уд.}^{(3)} \leq I_{дин.}$

Вибираємо вимикач вакуумний ВРС – 6 – 40/1250 У2, який задовольняє всім умовам вибору вимикача.

Висновки до розділу 3

Третій розділ містить розрахунок елементів системи цехового електропостачання барабанного змішувача СБ 2.8х6.0 в умовах агрофабрики №1 АТ «ПівдГЗК». Виконано розрахунки потужності цехової підстанції, виконано вибір силових трансформаторів та основного комутаційного обладнання. Виконано розрахунки струмів короткого замикання на землю. Обрано захисну апаратуру.

Висновки по роботі

У першому розділі розглянуто загальні відомості про технологічний процес підприємства, розглянуто місце та роль барабанного змішувача, його загальний і конструктивний вид, кінематичну схему електропривода барабанного змішувача. Наведено відомості про правила вводу в експлуатацію барабанного змішувача, наведено керівництво з поточної експлуатації обладнання, висунуто вимоги до автоматизованого електроприводу барабанного змішувача.

У другому розділі для приводного асинхронного двигуна гвинтової барабанного змішувача СБ 2.8х6.0, наведено Т-подібну схему заміщення, виконано розрахунки її параметрів. Для асинхронного двигуна виконано розрахунок природних швидкісних, електромеханічних та енергетичних характеристик електроприводу, та характеристик електроприводу при частотному керуванні.

З використанням MATLAB/Simulink та бібліотеки SimPower створено симуляційну модель приводного асинхронного двигуна барабанного змішувача, виконано розрахунок динамічних режимів роботи з урахуванням реактивного характеру моменту опору.

Розглянуто засоби енергозбереження засобами електропривода барабанного змішувача.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.ВН						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Мазур Є.Ю.			Висновки			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Титюк В.К.								43	
Реценз.								ЕМ гр. ЕЕМ-23ск			
Н. Контр.		Титюк В.К.									
Затверд.		Пересунько І.І.									

Третій розділ містить розрахунок елементів системи цехового електропостачання барабанного змішувача СБ 2.8х6.0 в умовах аглофабрики №1 АТ «ПівдГЗК». Виконано розрахунки потужності цехової підстанції, виконано вибір силових трансформаторів та основного комутаційного обладнання. Виконано розрахунки струмів короткого замикання на землю. Обрано захисну апаратуру.

	17				КНУ РБ.141.26.250с.5.ВН	Лист
						44
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис			

Перелік використаних джерел

1. І. М. Голодний, Ю. М. Лавріненко, В. В. Козирський, Л. С. Червінський, Д. А. Абдураманов, А. В. Торопов, О. В. – Регульований електропривод [Текст]: підручник. – Київ: Ліра-К, 2015. – 504 с.
2. О. М. Возняк – Сучасні системи електроприводів [Текст]: навчальний посібник: у 2 ч. – Вінниця: ТВОРИ, 2021. – Ч. 1. – 280 с.
3. С. П. Денисюк – Системи силової електроніки та засоби електромеханіки [Текст]: навчальний посібник. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 120 с.
4. Chorny, O. Tolochko, V. Tytyuk., D. Rodkin, G. Chekavskiy Mathematical models and specifics of numerical calculations of dynamic characteristics of electric drives with induction motors: monograph / – Kremenchuk: PE Shcherbatykh O.V. – 302 p. [in Ukrainian], 2016.
5. Браславський І. Я. Енергозберігаючий асинхронний привід. - М.: АКАДЕМІА, 2004. – 250с.
6. Мелешин В. І. Транзисторна перетворювальна техніка. - М.: Техносфера, 2005. – 632с.
7. Широтно-імпульсна модуляція в електроприводі змінного струму [Електронний ресурс]/Пересада С.М., Король С.В. Режим доступу: http://www.el-drive.com.ua/index.php?adr=5_article_el.
8. Казачковський М. М. Комплектний електропривод. – Дніпропетровськ: НГУ, 2003. – 226 с.
9. Довідник з електричних машин: Навч. посібник для студ. освітніх установ середньої проф. освіти / Кацман М. М. - М.: "Академія", 2005. – 480с.
10. Зеленов А.Б. Теорія електропривода. Луганськ: Ноулідж, 2010, с. 670.

					КНУ РБ.141.26.250с.5.ДЖ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Перелік використаних джерел		
Розроб.		Мазур С.Ю.					
Перевір.		Титюк В.К.					
Реценз.							
Н. Контр.		Титюк В.К.					
Затверд.		Пересунько І.І.			ЕМ гр. ЕЕМ-23ск		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						45	

